

Líquenes y rocas como ejemplo de interacción entre subsistemas terrestres

Lichens and rocks as an example of interaction between terrestrial subsystems

ARSENIO TERRÓN ALFONSO

Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Campus de Vegazana s/n. Universidad de León. 24071 León. E-mail: a.terron@unileon.es

Resumen Los líquenes son el resultado de una asociación de organismos muy diferentes desde el punto de vista biológico: un hongo y un fotosintetizador. Su persistencia en el tiempo y su amplia distribución espacial demuestran la importancia de este tipo de relaciones entre los seres vivos. Este trabajo expone algunas de las principales relaciones existentes entre determinados líquenes y las rocas sobre las que se instalan. En general, los líquenes actúan alterando mecánica y químicamente los sustratos rocosos, un hecho que afecta negativamente a las rocas monumentales pero que, en la naturaleza, constituye el germen de la formación de los suelos. Se comenta también el uso de los líquenes en la datación de fenómenos geológicos recientes. Muchos de los procesos descritos son de gran interés en el desarrollo de varias ideas clave incluidas en el documento de Alfabetización en Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: Alfabetización en Ciencias de la Tierra, líquen, rocas, meteorización, liquenometría.

Abstract *Lichens are the result of a combination of two very different living beings: a fungus and an organism that photosynthesizes. Their persistence over time and their wide spatial distribution show the importance of this kind of relationships between living beings. This paper presents some of the key relationships between certain lichens and the rocks on which they grow. In general, lichens act by altering rocky substrates mechanically and chemically. This has negative effects on the rocks used in monuments but in Nature it leads to soil formation. The paper also deals with the use of lichens for dating several recent geological phenomena. Many of the described processes are of great interest when it comes to developing several big ideas included in the Spanish Earth Sciences Literacy document.*

Keywords: *Earth Science Literacy, lichen, rocks, weathering, lichenometry.*

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos del Documento Español para la Alfabetización en ciencias de la Tierra (Pedrinaci et al., 2013) es la adquisición de una perspectiva holística sobre nuestro planeta, es decir de una visión que nos ayude a discernir las estrechas relaciones existentes entre los diversos componentes del mismo. Sólo una visión de este tipo nos permitirá comprender las causas, mecanismos y procesos que dan forma a la Tierra, y actuar correctamente sobre ellos en caso de ser necesario.

Un ejemplo paradigmático de las citadas relaciones se encuentra en el tándem líquen-roca, especialmente interesante no sólo porque, como veremos en este artículo, la interacción de los líquenes con la geosfera está en la base de la formación de suelos, sino también por el hecho de ser, los líquenes en sí

mismos, un caso también paradigmático de relaciones entre organismos biológicamente muy distintos.

A pesar de su innegable belleza, de su extraordinaria forma de vida, y de su abundancia y distribución universal, los líquenes son los grandes olvidados del mundo de la botánica (Fig. 1). Son poco o mal conocidos por los naturalistas y totalmente ignorados por el público en general. En ocasiones aparecen incluidos en grupos biológicos que no les corresponden y muy pocas personas conocen su integración en el complejo mundo de los hongos. Cuánto tiempo llevan viviendo en este planeta, cómo viven, qué relaciones establecen con lo vivo y lo inanimado son las preguntas que intentaremos resolver a lo largo de una breve revisión sobre su naturaleza, en la cual prestaremos atención a aquellos aspectos que resultan de la relación entre los líquenes y la gea.

Fig. 1. A pesar de su belleza y de encontrarse por doquier en la naturaleza, los líquenes son los grandes olvidados del mundo de la botánica. Izquierda: Líquenes fruticulosos péndulos como *Usnea* sp., Canseco (León); derecha: *Usnea florida* en el bosque de Pardomino (León).



LOS LÍQUENES

Los líquenes son unos organismos duales, que perpetúan en el tiempo una relación estable entre un hongo o micobionte (por lo general un *Ascomycota*, más raramente un *Basidiomycota* o un *Deuteromycota*) y un fotosintetizador o fotobionte (por lo general un alga verde o clorobionte de la división *Chlorophyta*, o bien una cianobacteria conocida como “alga verde-azulada” o cianobionte de la división *Cyanophyta*). En ocasiones, dicha asociación puede estar formada por un micobionte y dos fotobiontes (en este caso uno de ellos será un clorobionte y otro un cianobionte). En todos los casos se forma un talo líquénico (que será el “individuo”) constituido por un entramado de hifas fúngicas que puede ser muy variado en forma y estructura, así como contener otros componentes (Ahmadjian, 1993) (Fig. 2). Debido a la estabilidad de la relación, los líquenes no son un grupo natural

sino biológico, perteneciente al reino Fungi, ya que el elemento central es un hongo asociado a un organismo fotosintetizador.

La relación que mantienen los componentes del talo líquénico ha sido tradicionalmente considerada como una simbiosis mutualista (en la que ambos participantes salen más o menos beneficiados). Sin embargo, en el momento actual cabe describir dicha relación como un parasitismo controlado por parte del micobionte hacia los fotobiontes que intervienen en la formación del talo líquénico. Esto es debido a que el fotobionte soporta un daño moderado, recibiendo a cambio una protección más o menos eficiente frente al exceso de luz solar, los procesos de desecación-humectación, y otro tipo de inconvenientes de índole mecánico derivados de habitar en territorios donde, por lo general, los organismos fotosintetizadores no se aventuran por sí solos. Por otro lado, el micobionte se ve claramente beneficiado al recibir los fotosintatos derivados del metabolismo del fotobionte, consi-

Fig. 2. Izquierda: Liqueen del género *Rizocarpon* sobre una cuarcita en Riolago de Babia (León). Se observa su estructura estratificada con el hipotalo (parte basal del hongo, en tonos negros) que tiene un crecimiento mayor que el estrato con algas (verde). Derecha: *Lecanora* sp. en el bosque de Pardomino (León).

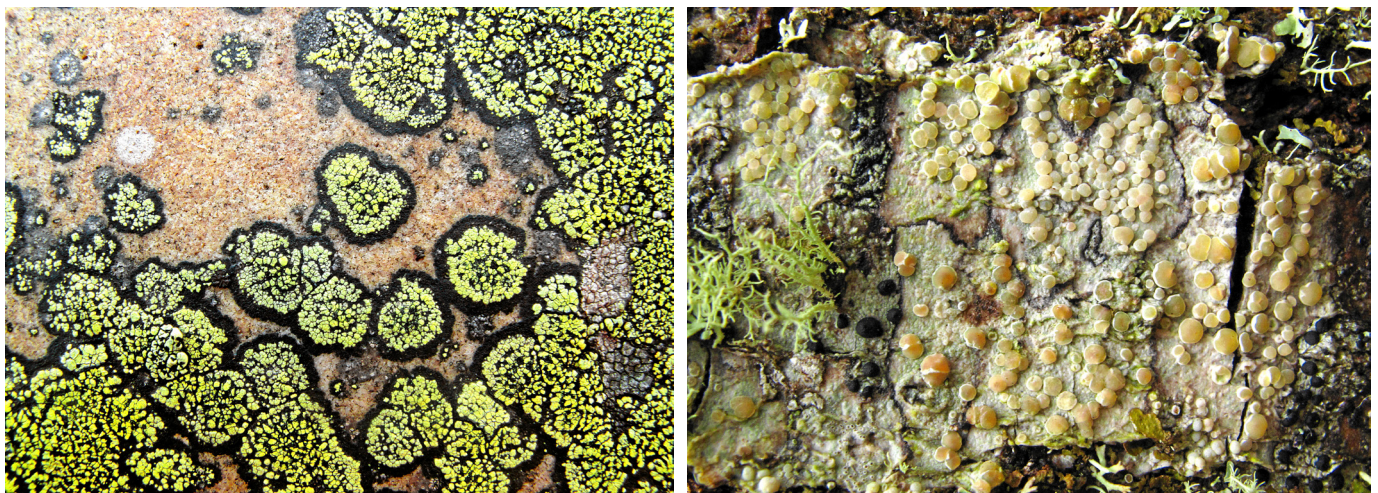




Fig. 3. *Lobaria pulmonaria* sobre madera en el bosque de Hormas (León), un espacio que goza de una protección ambiental integral.

guiendo un aporte nutricional más o menos constante sin tener que recurrir a un proceso lisotrófico convencional.

La eficiencia de esta relación se pone de manifiesto por su longevidad y, sobre todo, por su amplia dispersión geográfica. Los primeros líquenes conocidos en el registro fósil (*Ascomycota* sensu lato) datan de comienzos del Devónico (unos 440 Ma) (Black, 1972). En este sentido hay cierta controversia ya que otros autores (Retallack, 1982) postulan que su aparición no tendría lugar hasta el Pérmico o Triásico (280-180 Ma). Lo que sí se conoce con certeza es que los primeros líquenes bien conservados del registro fósil datan del Eoceno, hace unos 55 Ma.

En cuanto a su distribución geográfica actual, los líquenes ocupan entre el 7-9% de la superficie terrestre emergida, estando presentes en todos los continentes (incluida la Antártida donde son claramente mayoritarios), apareciendo en los desiertos más cálidos del planeta y en los grandes desiertos fríos, y pudiendo habitar desde lugares con un % de humedad relativa muy elevada hasta territorios donde el déficit hídrico provoca un estrés casi constante por la falta de agua hecho que causa una ralentización e incluso la paralización neta de su metabolismo. Sirva como dato revelador de su capacidad de adaptación a condiciones extremas el hecho de que, en la zona Antártica, solo

se consiguen las condiciones de iluminación, temperatura y humedad adecuadas para llevar a cabo el metabolismo líquénico entre 375 y 700 horas al año, siendo incluso mucho menos extendido en el tiempo el mantenimiento de estas condiciones en las grandes cumbres de las más altas cordilleras montañosas de la Tierra.

Los líquenes son capaces de vivir en cualquier tipo de sustrato (natural biótico y abiótico, o artificial) aunque la mayoría habita sobre la roca madre (Figs. 3, 4 y 5). Sin embargo, el ritmo de crecimiento no es el mismo en todos los sustratos, de tal manera que un determinado liquen no crece ni interacciona del mismo modo en uno o en otro tipo de sustrato. Por este motivo, la alteración del sustrato provocada por el liquen varía en función del sustrato y/o de las condiciones ambientales. En todo caso, los líquenes crecen muy despacio, desde 0,1 hasta algunos milímetros al año, pudiendo llegar, en casos muy excepcionales (como es el de los líquenes de tipo fruticuloso, Fig. 1), hasta varios centímetros anuales. Su lenta tasa de crecimiento va pareja, por lo general, con una gran longevidad. Contestar a la pregunta, tantas veces realizada, de ¿cuánto vive un liquen? es difícil. Se podría decir que, aunque como casi siempre depende de múltiples factores, los líquenes son organismos muy longevos que pueden llegar a sobrevivir durante cientos de años.

LÍQUENES Y SUSTRATOS

Como se dijo anteriormente, los líquenes habitan en un gran número de sustratos (Fig. 3, 4, 5 y 10), pero son especialmente frecuentes sobre todo tipo de rocas (Figs. 4 y 5), llegando a ser el principal grupo de seres vivos capaces de colonizar ambientes muy extremos (desde desiertos cálidos y fríos, grandes altitudes, etc). Los líquenes que se instalan sobre rocas reciben el nombre saxícolas y suelen mostrar una preferencia por sustratos de diferente pH. Así los saxícolas acidófilos se instalan sobre rocas ácidas, ricas en sílice (como cuarcitas o granitos) (Fig. 4); entre ellos cabe señalar a los géneros *Rhizocarpon* (Fig. 2 izquierda), *Lecidea* y *Lecanora* (Fig. 2 derecha), entre otros. Los saxícolas basófilos se instalan sobre rocas con pH ligeramente básicos como son las calizas (Fig. 5.); entre ellos se encuentran, los géneros *Verrucaria*, *Xanthoria* y *Dermatocarpon*.

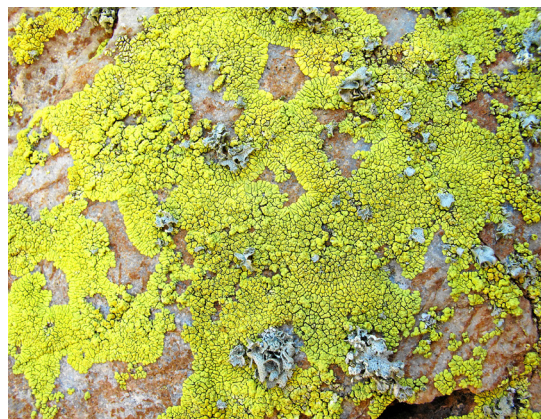
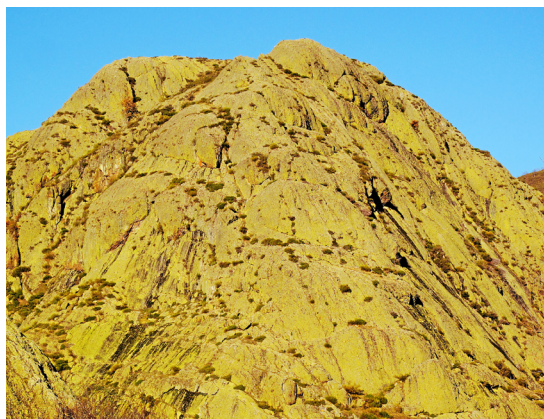


Fig. 4. Líquenes silícícolas. Izquierda: Afloramiento del Conglomerado de Curavacas (Carbonífero) en Portilla de la Reina (León), casi totalmente colonizada por líquenes. Derecha: *Acarospora oxytona* sobre cuarcitas del Ordovícico en la localidad de Piedrasecha (León).

Fig. 5. Líquenes calcícolas. Izquierda: *Aspicilia calcarea*, mostrando el característico crecimiento en círculos de los líquenes, sobre calizas del Devónico en la localidad de Aviaños (León). Derecha: Talo y apotecios (estructura reproductiva) de *Xanthoria elegans*, sobre calizas del Carbonífero en el Puerto de Piedrafita (León).



LA ALTERACIÓN DE LAS ROCAS POR LOS LÍQUENES

La interacción entre los líquenes saxícolas y el sustrato que colonizan ha sido reconocida desde el siglo XIX, cuando Sellas (1880) puso en evidencia que diminutos parches observados en las rocas se correspondían al líquen *Verrucaria nigrescens*. Desde entonces han sido multitud las

investigaciones llevadas a cabo que han participado de la controversia referida a la capacidad o no de los líquenes para degradar los sustratos rocosos y finalmente de formar o intervenir en la formación de suelos. Los procesos de alteración acontecen en la interfaz líquen-sustrato y están integrados por un conjunto de procesos físicos (meteorización física) y químicos y/o biológicos (meteorización biogeoquímica).

La meteorización física viene derivada de la alteración causada por el proceso de penetración de las hifas del talo líquénico en los intersticios del sustrato así como por los derivados de los movimientos de expansión/contracción del propio talo (Fig. 6).

El proceso de meteorización química está preferentemente mediatizado por la excreción de ácidos líquénicos, derivados del metabolismo del componente fúngico del talo líquénico (especialmente el ácido oxálico), los cuales interactúan con la superficie de la roca provocando la disolución de algunos de sus minerales constituyentes, e incluso generando la aparición de minerales nuevos o de neoformación (Fig. 7)

Fig. 6. Colonización líquénica de fracturas en unas pizarras de bajo metamorfismo del Precámbrico (Portilla de Luna, León). Se observa cómo los líquenes colonizan preferentemente las fracturas, favoreciendo así la meteorización física y química de la roca.

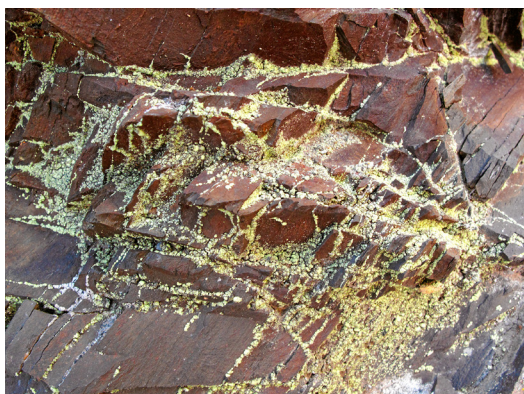
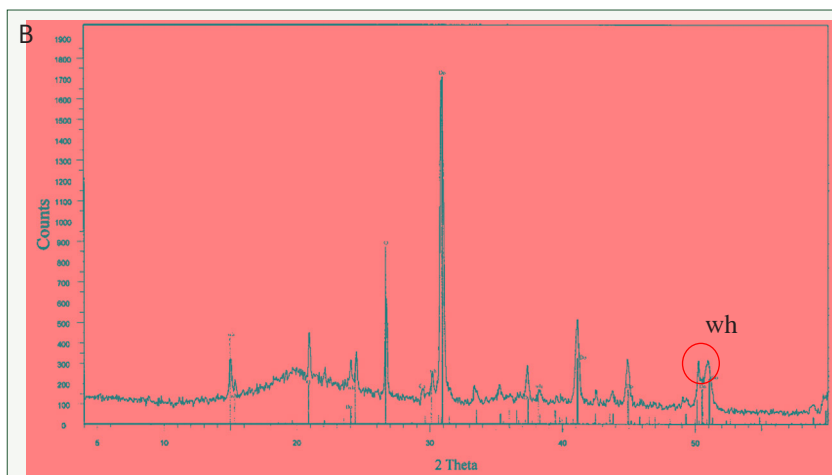
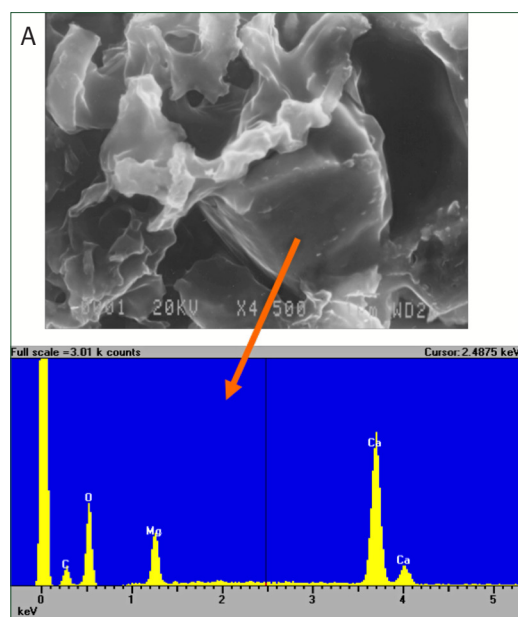


Fig. 7. A. Microanálisis de rayos X realizado usando el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) sobre roca de Boñar colonizada por *Phaeophyscia nigricans*. El microanálisis ha sido efectuado sobre un gránulo romboédrico, cuya composición y morfología parece indicar que se trata de calcita/ankerita o bien de weddellita (mineral de neoformación). B. Difractometría de rayos X. En la interfaz *Acarospora cervina*-dolomita aparecen dos minerales de neoformación (weddellita y whewellitita -wh-), además de otros componentes típicos de la roca de Boñar utilizada como roca de construcción en basílica de San Isidoro de León (Barquín y Terrón, 1997).



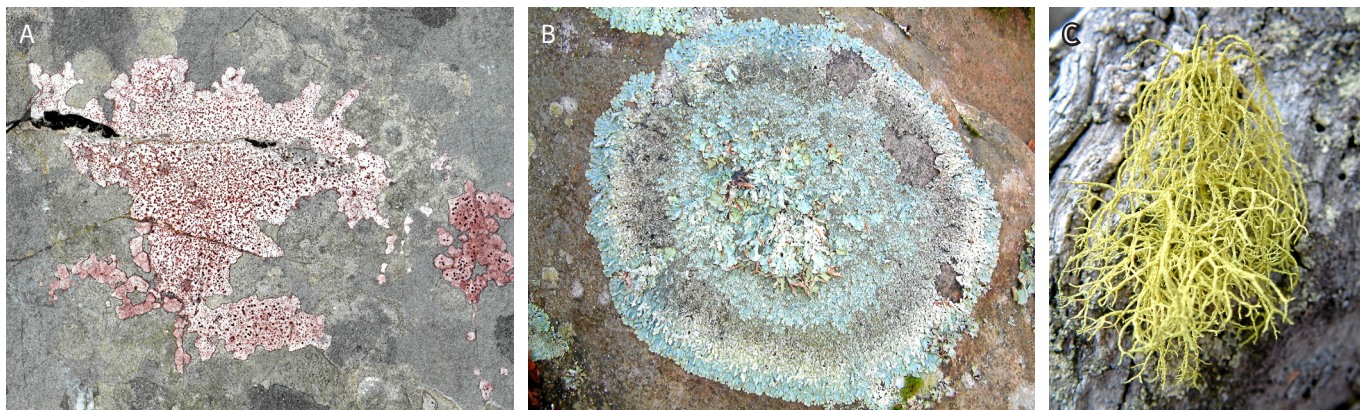


Fig. 8. A. Biotipo incrustante, *Verrucaria marmorea* sobre caliza. B. Biotipo foliáceo, *Parmelia saxatilis* sobre arenisca. C. Biotipo fruticuloso, *Letharia vulpina* creciendo sobre madera.

El conjunto de alteraciones que afectan a la interfaz liquen-roca varía de forma importante en función del biotipo liquénico y de la especie de liquen que intervenga en dicha interfaz.

En lo que se refiere al biotipo liquénico, este se establece en función de la superficie de contacto entre el liquen y el sustrato. En este caso nos interesan tres tipologías bien diferenciadas: crustáceos o incrustantes, foliáceos y fruticulosos (Fig. 8). De manera general podemos ver que la relación liquen/sustrato es muy íntima en el caso de los líquenes de biotipo crustáceo (aproximadamente 100% de la superficie basal del liquen contacta con el sustrato), frente al biotipo foliáceo, que presenta un grado de contacto elevado con el sustrato, pero dicho contacto es mucho más laxo que en el caso

anterior. Por último, significar que en el caso de los líquenes de biotipo fruticuloso, el contacto liquen/sustrato se reduce al máximo, quedando en la mayoría de los casos restringido a un simple disco de fijación que no supone más allá de un 5% del total de la superficie del talo liquénico. Es fácil entender, al menos desde el punto de vista teórico, que la capacidad de provocar alteraciones en la superficie de la roca es tanto mayor cuanto más extenso e íntimo sea el contacto entre el liquen y la roca.

En el caso de los líquenes saxícolas crustáceos debemos además diferenciar entre aquellos que viven directamente sobre la superficie de la roca (saxícolas epilíticos) de aquellos que lo hacen dentro de esta (saxícolas endolíticos) (Fig. 9). Estos últimos pueden incluso dividirse en criptoendolíticos (aquellos que ocupan oquedades propias de la roca), casmoendolíticos (que habitan en fisuras y grietas) y los euendolíticos (que generan su propio hábitat en el interior de la roca). Además, no todas las especies de líquenes crustáceos saxícolas tienen un comportamiento de uno u otro tipo, sino que pueden tener una fase epilítica y otra endolítica (de cualquiera de los subtipos mencionados) a lo largo de su ciclo de vida, o incluso comportarse como casmo- o euendolíticos en diferentes etapas de su proceso de colonización del sustrato (Fig. 10).

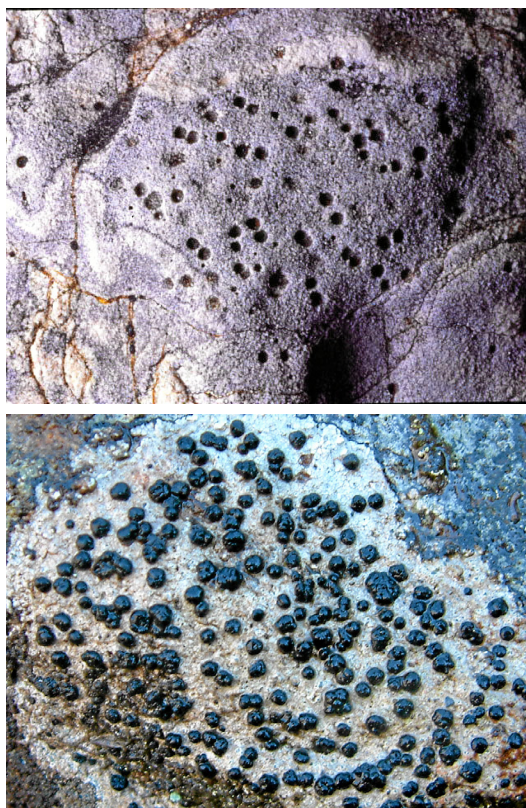
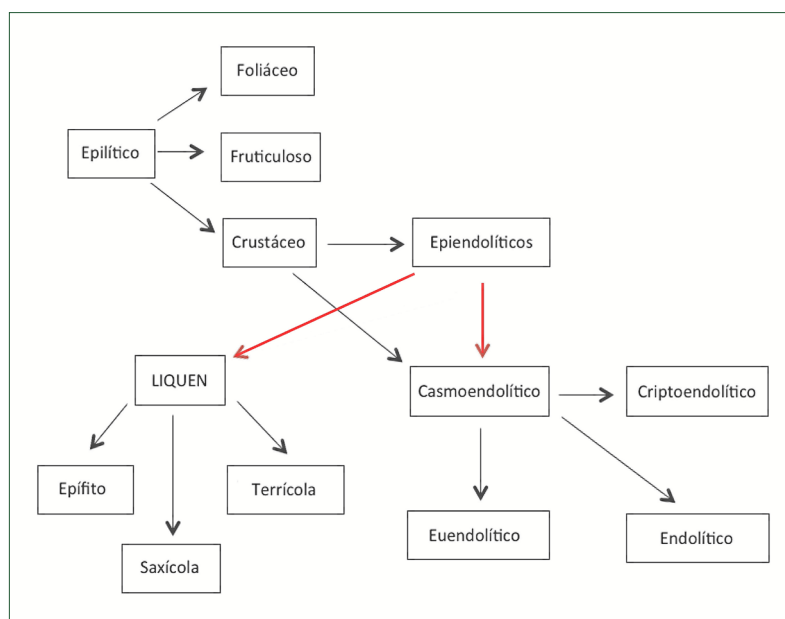


Fig. 9. Arriba: *Verrucaria* sp. mostrando un biotipo crustáceo endolítico sobre una caliza carbonífera, Garganta del Cares (León). Abajo: *Porpidia macrocarpa*, con biotipo crustáceo epilítico creciendo sobre una cuarcita, Santa María del Condado (León).

Fig. 10. Tipos de líquenes en función de su hábitat, en muchos casos relacionado con su acción sobre las rocas.



Importancia del papel de los líquenes en la alteración del sustrato

El papel de los líquenes en la alteración del sustrato rocoso es reconocido desde hace décadas (Seaward 1997) aunque no deja de existir cierta polémica sobre la importancia real que los líquenes en este proceso.

Recientemente (Wierchos y Ascaso 1994, 1996) estudiaron los aspectos biológicos relacionados con la meteorización de las rocas y minerales por parte de los líquenes saxícolas en la interfaz con el sustrato rocoso y en la que intervienen un conjunto muy heterogéneo de organismos y procesos: minerales primarios y de neoformación, diversos ácidos y compuestos orgánicos generados por los organismos que forman parte del talo liquénico (-ciano o clorobiontes), además de hongos (preferentemente *Ascomycetes*), así como algunas algas que viven de manera libre en esa interfaz, amén de múltiples bacterias que en ella encuentran acomodo y condiciones de vida adecuadas.

Meteorización física

Desde que Liebig (1853) habló del efecto erosivo de los líquenes sobre las rocas, se ha seguido investigando de manera profusa en este sentido, lo que ha permitido identificar los efectos físicos que intervienen en dicho proceso. Estos mecanismos serían:

1. Penetración de hifas

Una de las características que mejor definen la fisiología de las hifas fúngicas es su altísima capacidad de penetración en los diferentes sustratos sobre los que se desarrollan. En el caso específico de las rocas y minerales, esta penetración se realiza a través de líneas de fractura en las rocas (Fig. 6), o bien utilizando los huecos existentes entre gránulos o los diferentes planos de exfoliación de un mineral. Se generan así importantes efectos mecánicos, al mismo tiempo que inducen o aceleran otros mecanismos de alteración (degradación y exfoliación entre otros).

2. Expansión y contracción del talo liquénico

El talo liquénico tiene una estructura anatómica en general más o menos estratificada, de tal modo que la capa medular (constituida únicamente por hifas fúngicas más laxas) tiene una altísima capacidad higroscópica. Debido a la presencia de sustancias gelatinosas presentes o formadas en dicha capa, el talo tiene una alta tasa de contracción/expansión. La repetición de estos movimientos, diaria o estacional, termina por provocar la rotura mecánica de la superficie pétreo en fragmentos, por lo general de <50 µm (Moses y Smith 1993). Este fenómeno actúa conjuntamente con procesos de alteración química y será el corresponsable de la formación de roturas más o menos evidentes en las rocas como paso inicial de su proceso de alteración. Estos procesos no han sido cuantificados como perceptibles en periodos inferiores a 10 años.

3. Procesos de congelación y descongelación del talo liquénico

Tal y como hemos comentado, las hifas del talo liquénico tienen una alta capacidad de penetración en el sustrato y por tanto, como consecuencia de su

posible y factible congelación, pueden actuar como auténticas cuñas que provocan la rotura y disgregación de la roca colonizada. Estos procesos de congelación/descongelación son tanto más importantes en territorios muy fríos donde han podido ser demostrados diferentes procesos de alteración de rocas y minerales, con la consecuente formación de suelos (Ariño *et al.*, 1997).

4. Sales orgánicas e inorgánicas: procesos de hinchamiento y desinflado

El proceso metabólico del talo liquénico provoca la excreción de sustancias químicas capaces de reaccionar con componentes del sustrato rocoso y, por ello, generar sales orgánicas e inorgánicas. Estos compuestos experimentan procesos de hinchazón y “desinflado” que favorecen la desagregación mecánica de minerales y rocas. Entre este tipo de sustancias, señalar el papel relevante de los oxalatos de diversos tipos.

5. Incorporación de fragmentos del sustrato al talo liquénico

Ascaso y Wierchos (1994) han evidenciado que los talos liquénicos pueden agregar fragmentos minerales desagregados de la superficie de la roca sobre la que habitan, como por ejemplo ocurre con el liquen *Parmelia conspersa* instalado sobre granitos. Ariño *et al.* (1995) cuantifican en 25 y 30 mg/m² la cantidad de gránulos minerales incrustados dentro de los talos de *Caloplaca variabilis* y *Lecanora albescentis* respectivamente. (Figs. 7 y 11).

Meteorización química

Tal y como hemos comentado anteriormente, la alteración química va, en muchas ocasiones, ligada directamente a algunos de los principales procesos físicos. Por tanto, de su actuación conjunta deriva su efecto sobre la superficie y estructura del material pétreo.

En ocasiones se ha cuestionado el papel de los líquenes en el deterioro de los sustratos rocosos, debido al hecho de que los productos del metabolismo liquénico son insolubles en agua y, por tanto, su efecto de alteración debía ser escaso o inexistente (Iskander y Syers 1972). Sin embargo, lo que en realidad sucedía era que las técnicas de muestreo y análisis no evidenciaban correctamente el efecto provocado por esas sustancias liquénicas. Con el avance de las tecnologías analíticas se han puesto en evidencia los efectos que los líquenes provocan en la alteración (biodeterioro) de las rocas naturales y en los materiales de construcción, así como su participación en la pedogénesis. De entre todos los mecanismos de alteración química del sustrato derivados de la actuación de los seres vivos, los líquenes intervienen, al menos, en dos de ellos a la hora de solubilizar los minerales. Estos son:

1. Generación de CO₂ durante el proceso respiratorio.

El CO₂ producido durante el metabolismo liquénico se disuelve en el agua que forma parte de las estructuras liquénicas generando así ácido carbónico. Este ácido acentúa los procesos de solubilización de los minerales por el sencillo hecho de que modifica (generalmente acidificando) el valor del pH

a nivel local, allí donde los líquenes habitan. Muchos autores (Wierchos y Ascaso 1996) evidencian que los talos liquénicos crean o, al menos, modifican las condiciones químicas en los microhábitats que ocupan y que en múltiples ocasiones ello conlleva el aumento en la hidrólisis de los minerales que conforman las rocas.

2. Ácido oxálico y otras sustancias semejantes

En condiciones experimentales se ha podido demostrar que la presencia de ácido oxálico (metabolito derivado de la actividad del micobionte liquénico) provoca o acelera la precipitación y/o disolución en rocas y minerales, contribuyendo de manera muy importante al deterioro químico de esos elementos. La presencia de los oxalatos liquénicos se manifiesta en la interfaz liquen/sustrato. En muchos casos esos líquenes excretan otros ácidos (cítrico, glucánico, etc.) que también intervienen en los procesos de deterioro químico de los sustratos rocosos. Es necesario señalar que el ácido oxálico no es un producto exclusivo de los líquenes si no que otros organismos (asociados a los líquenes) también lo generan (cianobacterias, algas verdes, algunos hongos y algunas bacterias, etc.) por lo que la alteración química derivada no puede ser atribuida, en exclusividad, a los líquenes saxícolas.

Otros productos del metabolismo liquénico (agrupados bajo el nombre genérico de ácidos liquénicos, aunque no todos tengan naturaleza ácida) como son dépsidos y depsidonas con bajo poder hidrosoluble pueden intervenir en procesos de generación de minerales y por ende generar procesos de alteración química de las rocas.

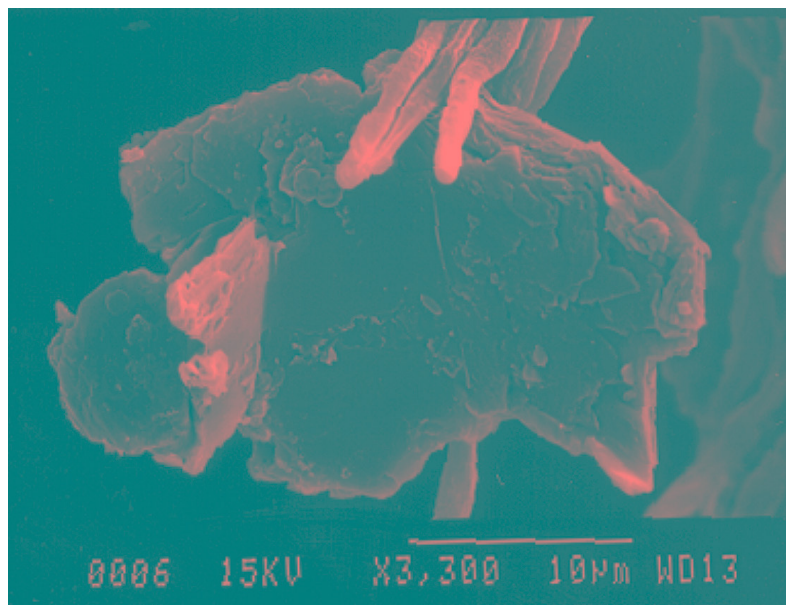
Todos estos procesos de alteración química han sido suficientemente probados en condiciones de experimentación controlada (Ascaso y Galván 1976) pero aún no han podido ser suficientemente probados en experimentación de campo (Wilson 1995).

Hay otro conjunto de procesos químicos que causan alteración de las rocas como consecuencia de procesos mediatizados por microorganismos, pero no han sido suficientemente documentados en el sentido de corroborar la intervención de los líquenes en ellos: alcalinólisis, reacciones enzimáticas, procesos de adsorción por la superficie celular y de absorción por parte de microorganismos, etc.

El factor roca en la alteración

Aunque los procesos descritos son universales, la naturaleza de la roca erosionada determina hasta qué punto los líquenes pueden intervenir en el proceso de su biodeterioro.

Un buen ejemplo lo constituye el hecho de que los líquenes endolíticos generan exudados que favorecen la disolución de las partículas que conforman las areniscas, hecho que reduce su cohesión y con ello provoca procesos de exfoliación importantes. Algo similar sucede en este tipo de rocas con la movilización del Fe que puede ir hacia las capas altas de la roca (dotando a la misma y al propio liquen de un característico tono herrumbroso) o bien ir hacia las capas más profundas de la roca donde precipita y puede llegar a dar niveles más altos que en el agua circundante (Wessels y Budel 1995).



En el caso de rocas graníticas se ha evidenciado como la biotita es alterada superficialmente bajo el efecto de algunos ácidos orgánicos derivados del metabolismo liquénico (Song y Huang 1988, Wierchos y Ascaso 1994, 1996).

Un caso particular es el referido al efecto erosivo que juegan los líquenes sobre las rocas calizas. En este tipo de rocas, el ácido oxálico de origen liquénico provoca procesos de meteorización severa sobre ellas (Syers y Iskandar 1973). Como ejemplo, pueden citarse líquenes de los géneros *Diploschistes*, *Caloplaca*, *Squamaria*, *Protoblastenia*.

Fig 11. *Caloplaca teicholyta*, hifas sujetando los gránulos del sustrato, puede observarse como las hifas se adhieren directamente a la roca.

LÍQUENES Y FORMACIÓN DE SUELOS

Estudios experimentales llevados a cabo en la Antártida han puesto de manifiesto como algunas comunidades de líquenes criptoendolíticos que habitan en areniscas podían llegar a acumular desde 10-100 g/m² de gránulos (Vestal 1988). En la Antártida marítima, con muy bajas tasas de pérdida de materia y la práctica ausencia de pastoreo, la acumulación puede alcanzar hasta 2 kg/m² para una única especie de liquen (*Usnea himantormia*) (Kappen 1993). La materia orgánica generada por los propios líquenes, las excreciones celulares, la actuación de especies fijadoras de N₂, el desprendimiento de partículas de la superficie rocosa, el apresamiento de partículas de polvo por los propios talos liquénicos, así como la activación de algunas comunidades bacterianas heterótrofas asociadas a las hifas fúngicas, favorecen la formación de ácido fúlvico o húmico que juegan un papel importante en la formación de complejos con hierro y aluminio, y finalmente generan suelos primitivos (Seaward 1997, Ariño *et al.*, 1995).

Por otro lado, los líquenes son organismos claramente primocolonizadores (Figs. 5 y 6), capaces de generar condiciones microambientales favorables al asentamiento de otras comunidades más complejas, entrando a formar parte de las mismas un buen número de plantas que irán sustituyendo a los propios líquenes y que continuarán con el proceso de forma-



Fig. 12. Izquierda: Líquenes colonizando unas lavas recientes en la caldera del volcán Askja (Islandia), en un momento en el que se está iniciando la formación del suelo. Derecha: Líquenes, briófitos (*Racomitrium* sp.) y espermatófitos (*Sedum* sp.) en las primeras fases de formación de suelo primitivo sobre rocas silíceas desnudas, Redipueras (León)

ción de suelos (Figs. 11 y 12). La razón fundamental para este proceso de coexistencia, cuando no de intercambio, de líquenes y plantas estriba en el hecho de que los líquenes representan las dos características esenciales que las plantas necesitan para vivir: humedad y nutrientes (Harper y Pseudaleton 1993). Del mismo modo, ese efecto pedogénico derivado de la actividad líquénica genera condiciones ± adecuadas para el asentamiento de comunidades de animales que terminan por intervenir igualmente en el proceso de formación de suelos.

La intervención de los líquenes en el proceso de meteorización de las rocas ha quedado patente en las múltiples referencias anteriormente citadas. La velocidad o tasa de meteorización de los diferentes tipos de roca es una incógnita aún por resolver. Sirvan dos ejemplos: en el desierto antártico frío, las areniscas son exfoliadas por los líquenes a un ritmo de 3 mm cada siglo, mientras que algunas lavas emergentes en Hawaii presentan, después de 50 años de colonización por *Stereocaulon* una pátina de meteorización de 0,81 mm, lo que arroja una exfoliación de aproximadamente 1,6 cm por siglo.

La tasa de meteorización de la roca por parte de los líquenes depende pues de un sinnúmero de factores: efectividad en el proceso degradativo por parte de las diferentes especies líquénicas, textura de las rocas, grado de mineralización, velocidad de colonización de las rocas, climatología, etc. McCarroll y Viles (1995) han cuantificado que el grado de meteorización de rocas en el sur de Noruega llegaba a alcanzar valores de entre 25-50 veces mayor que cualquier otro tipo de meteorización en el mismo territorio.

Además, los talos líquénicos atrapan partículas de polvo aerotransportadas desde largas distancias, lo que contribuye a las primeras fases del proceso de formación de suelos primitivos. También debemos significar que algunos estudios ponen en evidencia el papel protector que los líquenes pueden ejercer sobre la superficie de las rocas frente a su degradación, especialmente en aquellos lugares en los que el deterioro físico-químico es mucho más fuerte que el biodeterioro (Ariño y al. 1995).

Parece por tanto necesario conocer que especies líquénicas intervienen en los procesos degradativos de la superficie de las rocas y, por tanto, en la formación de suelos primitivos, y que

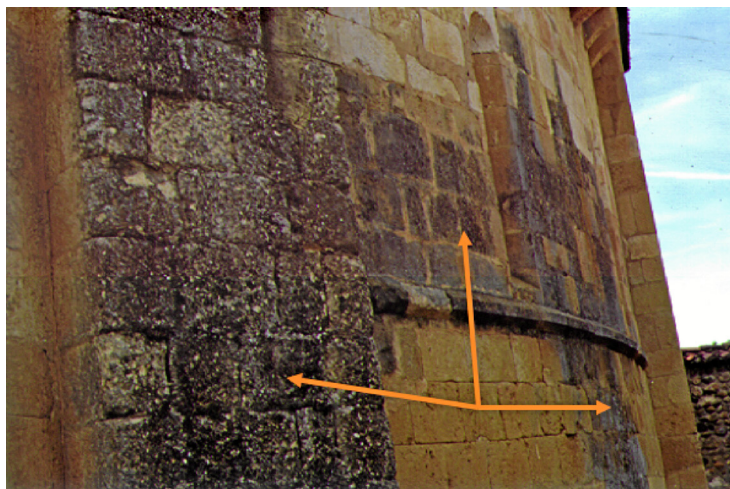
especies pueden, por el contrario, dotar a algunas rocas de una capa protectora que amortigüe los efectos de la meteorización físico-química ajena al biodeterioro.

LÍQUENES Y MONUMENTOS

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado anterior, es lógico pensar que los líquenes participan de forma activa en la alteración de muchos monumentos construidos por rocas ornamentales, cambiando además el aspecto estético de muchos de ellos. Tanto la alteración físico-química, como la meramente estética conllevan problemas severos a la hora de promover actuaciones de reparación en los monumentos o de prevenir la aparición de los líquenes sobre los mismos. En ambos casos, es imprescindible conocer cuáles son los líquenes que se asientan sobre la superficie de la roca con la que se ha construido el monumento, así como las relaciones ecológicas que se establecen entre todas las comunidades líquénicas que en ellos se asientan. Estas comunidades responden, mayoritariamente, a las condiciones ambientales del lugar y a la propia naturaleza de la roca monumental. El desconocimiento de las especies de líquenes presentes, así como de su ecología, ha provocado actuaciones muy nocivas sobre las rocas monumentales, generando, con cierta frecuencia, alteraciones mucho más severas que aquellas que los líquenes podían provocar por sí mismos. La Figura 13 muestra algunos de los efectos de alteración de los líquenes sobre monumentos (S.I. Catedral de León y la Real Colegiata de San Isidoro de León, el Monasterio de Santa María de Gradefes también en la provincia de León y en el Monasterio de San Martín de Castañeda en la provincia de Zamora) (Barquín y Terrón 1997).

LIQUENOMETRÍA

La liquenometría es una técnica de biodatación de fenómenos geológicos recientes (700-500 años aproximadamente) basada en la tasa y/o velocidad de crecimiento de algunos líquenes en sustratos geológicos definidos. Hasta la fecha, esta técnica se ha utilizado especialmente en la datación de morrenas



y superficies rocosas expuestas por la retirada de los hielos, obteniéndose así la velocidad de retroceso de los glaciares. Pero esta técnica también permite datar movimientos tectónicos recientes y terremotos (mediante desprendimientos rocosos debidos a fenómenos sísmicos), uso de canteras, etc., además de ser de gran utilidad en arqueología (Bull 1994).

Para ser usado en análisis liquenométricos, un líquen ha de cumplir una serie de requisitos imprescindibles: 1) fácil reconocimiento en campo, 2) capacidad de crecer en diferentes superficies naturales, 3) presentar márgenes talinos bien definidos, 4) tener tasas de crecimiento y de longevidad compatibles con el hecho que se quiere datar, y 5) que hayamos sido capaces de conocer la tasa de crecimiento de la especie elegida en un territorio determinado. Por este motivo, y aunque han sido propuestos varios líquenes para realizar esta datación, hasta la fecha son las especies del género *Rhizocarpon* las que más aceptación han tenido en diversos territorios del globo terrestre, especialmente en zonas alpinas, polares o boreales (Dike 1990).

El uso de esta herramienta exige conocer con todo detalle la tasa de crecimiento de los líquenes usados, de ahí que debamos ser extremadamente cautelosos y precisos a la hora de validar su uso para cada especie concreta y hacerlo siempre en territorios con unas condiciones ambientales bien conocidas. Uno de los grandes inconvenientes que ha de resolver la liquenometría está relacionada con la delimitación del talo liquénico de una especie determinada ya que, en ocasiones, la coalescencia de diversos talos (individuos) pueden terminar por configurar un único individuo que surgiría como consecuencia del sumatorio de los anteriores. Desconocer este hecho, o no ser capaz de evidenciarlo en estudios de campo, puede generar dataciones erróneas o cuando menos inexactas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se hace un breve repaso del concepto de líquen, enfatizando los principales procesos mediante los cuales estos organismos duales interactúan con las rocas. Toda esta información puede, y debe, ser utilizada en un contexto de enseñanza-aprendizaje basado en la alfabetización en ciencias

de la Tierra. Retomando el documento de alfabetización desarrollado por Pedrinaci *et al.* (2013) para la Enseñanza Secundaria Obligatoria, puede comprobarse que los conceptos y procesos implicados en la relación entre líquenes y rocas resultan especialmente útiles en el desarrollo de varias de las ideas clave; de manera especial, destacamos las siguientes:

- **Idea clave 1.** *La Tierra es un sistema complejo en el que interaccionan las rocas, el agua, el aire y la vida* y más especialmente, dentro de esta, como ejemplo de interacción de los subsistemas terrestres (Ideas 1.5 y 1.6) a una escala, tanto temporal como espacial, que el alumnado puede apreciar.
- **Idea clave 3.** *Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua*, y concretamente en el punto 3.8. *Las rocas que afloran en la superficie terrestre son alteradas por meteorización*. En este caso, se trataría de acentuar la idea de que la meteorización se realiza también por seres vivos y que estos no tienen necesariamente que ser organismos grandes y llamativos.
- **Idea clave 5.** *La vida evoluciona e interacciona con la Tierra modificándose continuamente*. En este punto, los líquenes son un ejemplo excepcional de evolución (punto 5.3), una asociación que capacita al talo liquénico para ocupar un amplio rango de ambientes, incluyendo aquellos con condiciones extremas para otros hongos y plantas (punto 5.7). La participación de los líquenes en la formación de suelos permite también acercarse a la idea de que la biosfera modifica otros subsistemas terrestres (punto 5.8).
- **Idea clave 6.** *Los procesos geológicos externos transforman la superficie terrestre* y, dentro de esta idea, muy especialmente el punto 7.8, *Los seres vivos también ejercen una actividad geológica*.
- **Idea clave 8.** *La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible*. En esta idea, el punto 8.5 se centra en el suelo como recurso no sólo para los seres humanos sino también para otros organismos.
- **Idea clave 10.** *Los científicos interpretan y explican el funcionamiento de la Tierra basándose en observaciones repetibles y en ideas verificables*. Esta idea puede desarrollarse utilizando la liquenometría y el uso de los líquenes como indicado-

*Fig. 13. Acción de los líquenes sobre rocas de construcción. Izquierda: Fachada E-NO del ábside del Monasterio de Gradefes (León). La delimitación de zona basal y apical con distinto grado de colonización liquénica se ha difuminado de tal modo que hay zonas de alteración/colonización repartidas a lo largo de toda la altura del muro. Derecha: *Aspicilia sp.* (biotipo incrustante) sobre roca de Boñar en la sillería de la Catedral de León.*

res ambientales, a modo de ejemplo de los métodos utilizados por la ciencia para comprender el funcionamiento del planeta.

En definitiva, los líquenes pueden ser un magnífico recurso tanto en la enseñanza de la diversidad de organismos y de las relaciones entre ellos, como en el aprendizaje de los estrechos, y en muchos casos ignorados, vínculos entre los seres vivos y el sustrato inerte con el que interactúan.

AGRADECIMIENTOS

A Rodrigo Castaño de Luis, por la cesión de muchas de las fotos (figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8A y 12 derecha) que ilustran este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadjian, V. (1993). The lichen photobiont-what can it tell us about lichen systematics. *The Bryologist*, 96, 310-313.
- Ariño, X., Gómez-Bolea, A. y Saiz-Jiménez C. (1997). Lichens on ancient mortars. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40, 217-224.
- Ascaso, C. y Galván, J. (1976). Studies on the pedogenetic action of lichen acids. *Pedobiología*, 16, 321-331.
- Ascaso, C. y Wierchos, J. (1994). Structural aspects of the lichen-rock interface using back-scattered electron imaging. *Botanica Acta*, 107, 252-256.
- Barquín, P. y Terrón, A. (1997). Lichen communities in the Cathedral of León (Spain). *Aerobiología*, 13.3, 191-197.
- Black, R.M. (1972). *The elements of paleontology*. Cambridge University Press. New York, 339 p.
- Bull, W.B. (1994). Avoiding pitfalls in lichenometry. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 26.
- Dyke, A.S. (1990). A lichenometric study of Holocene rock glaciers and neoglacial moraines, Frances Lake map area, southeastern Yukon Territory and Northwest territories. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 393, 33 p.
- Harper, K.T. y Pendleton, R.L. (1993). Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants? *Great Basin Naturalist*, 53, 59-72.
- Iskandar, I.K. y Syers, J.K. (1972). Metal-complex formation by lichen compounds. *Journal of Soil Science*, 23, 255-265.

Kappen, L. (1993). Lichens in the Antarctic region. In: Friedman, E.I. (Ed.), *Antarctic Microbiology*, Wiley-Liss, New York 433-490.

Liebig, V.J. (1853). Über den Thierschite. *Liebigs Annalen der Chemie*, LXXXVI, 113-115

McCarroll, D. y Viles, H. (1995). Rock-weathering by the lichen *Lecidea auriculata* in the arctic alpine environment. *Earth Surf. Processes Landforms*, 20, 199-206.

Mediavilla Pérez, M.J. (2014). Meteorización química. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.3, 230-238.

Moses, C.A. y Smith, B.J. (1993). A note of the role of the lichen *Collema auriforme* in solution basin development on a carboniferous limestone substrate. *Earth Surface Processes Landforms*, 18, 363-368.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E.M., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Retallack, G.J. (1992). Were the Ediacaran fossils lichenlike organisms? *Geological Society of America. Abstracts with Programs*, 24.7, 226-227.

Seaward, M.R.D. (1997). Major impact made by lichens in biodeterioration processes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40, 269-273.

Syers, J.K. y Iskandar, I.K. (1973). Pedogenetic significance of lichens. In: Ahmadjian, V., Hale, M.E. (Eds.): *The lichens*. Academic Press, New York 225-248.

Wessels, D.C.J. y Büdel, B. (1995). Epilithic and cryptoendolithic cyanobacteria of Clarens sandstone cliffs in the Golden Gate Highlands National Park, South Africa. *Botanica Acta*, 108, 220-226.

Wierchos, J. y Ascaso, C. (1994). Application of back-scattered electron imaging to the study of the lichen-rock interface. *Journal of Microscopy*, 175, 54-59.

Wierchos, J. y Ascaso, C. (1996). Morphological and chemical features of bioweathered granitic biotite induced by lichen activity. *Clays and Clay Minerals*, 44, 652-657.

Wilson, M.J. (1995). Interactions between lichens and rocks. *Cryptogamic Botany*, 5, 299-305. ■

Este artículo fue recibido el día 28 de abril de 2016 y aceptado definitivamente para su publicación el 26 de mayo de 2016.